مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (7) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (7) 2011

تأثير التجمد على الصخور

د. عدنان خضور *
د. رامي أسطة **
ماهر سجيع نصور ***

(تاريخ الإيداع 7 / 6 / 2011. قُبِل للنشر في 7 / 12 / 2011)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير التجمد في الصخور الكربوناتية المأخوذة من مقالع محددة في المنطقة الساحلية من سوريا وذلك بوساطة اختبار الأصالة (Soundness Test) باستخدام سلفات الصوديوم، و إمكانية وجود ارتباط بين تجربة الاهتراء (لوس أنجلوس) واختبار الأصالة.

نتيجة البحث:

– أغلبية الصخور المدروسة من المقالع المختلفة هي مقاومة لتأثير التجمد .

– ارتباط بعض الخصائص الفيزيائية للصخر باختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم.

– هناك علاقة تربط اختبار الاهتراء (لوس أنجلوس) واختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم لكن بشروط محددة .

الكلمات المفتاحية: الأصالة، الاهتراء، التجمد، المتانة، الحطاميات.

* أستاذ – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** مدرس – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
*** طالب ماجستير – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (7) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (7) 2011

The Effect of Freezing on Rocks

Dr. Adnan Kaddor[*]
Dr. Rami Osta[**]
Maher Nassour[***]

(Received 7 / 6 / 2011. Accepted 7 / 12 / 2011)

□ ABSTRACT □

The aim of this research is to study the influence of freezing on carbonate rocks extracted from specific quarries in the coastal region of Syria, and the possibility of finding the correlation between Abrasion test (L.A) and Soundness test, using Sodium Sulfate.
The results or findings of this research are as follows:

- Most of the carbonate rocks studied freezing-resistant.
- There are correlations between some physical properties of carbonate rocks and Soundness test, using Sodium Sulfate but displaying different ratios.
- There is a relationship between Abrasion test (L.A) and Soundness test, using Sodium Sulfate but under specific conditions.

Keywords: Soundness, Abrasion, Freezing, Durability, Aggregates

[*] **Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**] **Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***] **Postgraduate Student, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة

بدأت دراسة الصخور لأغراض البناء منذ فترة زمنية طويلة، حيث أدى استخدامها مواد أولية وقواعد للمنشآت الهندسية إلى التعمق في دراسة خواص الصخور من حيث المتانة والتجانس.

مع بدء البحث العلمي حوالي العقود الأولى من القرن التاسع عشر، اهتمت المواضيع والأبحاث بالصخور مما أدى إلى تطور استخدامها وفاعليتها من الناحية الاقتصادية والإنشائية.إن خواص الصخور والحطاميات المستخدمة في المنشآت الهندسية مهمة جداً في تقييم أداء هذه المنشأة وكذلك استثمارها بالشكل الأمثل، واستخدام الصخور في أي مجال هندسي يعتمد على الخواص التي تتمتع بها من ناحية المتانة بمعنى أن تكون مقاومة للتهشم وللتغيرات المناخية؛ لذلك توجب التعريف بخصوصية كل صخر مستخدم حسب الموقع والمناخ الموجود فهناك صخور تتأثر بالتغير الكبير لدرجات الحرارة ضمن اليوم أو الفصل الواحد، وصخور تتأثر حسب الموقع الذي تستخدم فيه.

لا تحظى دراسة تأثير المناخ على الصخور المستخدمة في المنشآت المدنية في سورية بالاهتمام الكافي رغم أن هذا التأثير قد يكون في بعض الأحيان كبيراً مما يؤدي إلى خسارة اقتصادية للمنشأ وإخراجه من الاستثمار. على سبيل المثال تتعرض الصخور المستخدمة في المناطق الباردة لدورات تجمد كثيرة نتيجة التغير الكبير في درجة الحرارة مابين الليل والنهار مما يؤثر بشكل كبير على متانة الصخر، فإذا لم يكن الصخر المستخدم مقاوماً للتجمد فإنه سوف يتعرض للتفتت ولتغير كبير في مواصفاته، كما أن استخدام الصخور في البحر أو ضمن رصيف بحري يعرضها للغمر بماء البحر بفعل المد و للتجفيف نتيجة الجزر وهذا يؤدي إلى تغير في خواص هذه الصخور نتيجة لتأثير الأملاح عليها.

يتطرق هذا البحث لدراسة تأثير التجمد في الصخور، حيث إن الماء عندما يتجمد ضمن شقوق ومسامات الصخر يزداد حجمه بمقدار (9.1%)، هذا يسبب ضغطاً على جوانب الشقوق والمسامات مقداره حوالي ($890kg/cm^2$) وهو كافٍ لتهشم الصخور المتينة.

أغلب المواصفات تشترط اختبار مقاومة الصخر على التجمد باستخدام اختبار أصالة الصخور، يستخدم في هذا الاختبار نوع من الأملاح التي عندما تدخل ضمن مسامات وشقوق الصخر تتبلور ويزداد حجمها فتضغط على جوانب المسامات والشقوق مما يؤدي إلى توسعها وإضعاف متانة الصخر ويمكن أن يؤدي ذلك إلى تحطم الصخر، وهذه الحالة شبيهة بحالة تجمد الماء ضمن الشقوق والمسامات. يمكن اختبار متانة أصالة الصخور [10] بالطرق التالية:

1- اختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم أو سلفات المغنيزيوم (Soundness (AASHTO T104 .
2- اختبار دورات تجمد وذوبان،(Soundness (AASHTO T103 .
3- اختبار دليل المتانة للحطاميات AASHTO T210.
4- اختبار التجمد والذوبان – كندا.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة تأثير التجمد في الصخور الكربوناتية الموجودة في المنطقة الساحلية بالاعتماد على اختبار الأصالة و إمكانية إيجاد علاقة بين هذا الاختبار واختبار مقاومة الاهتراء (لوس انجلوس) نظراً لسهولة إنجازه مقارنة باختبار الأصالة حيث إن إنجاز اختبار الأصالة يحتاج لفترة زمنية قد تصل إلى أسبوعين.

ويركز البحث على عامل مهم من عوامل التعرية الميكانيكية وهو تجمد الماء ضمن مسامات وشقوق الصخور ، وتتبع أهمية هذا البحث من الأثر الكبير لتجمد الماء ضمن الصخور على متانة هذه الصخور، وبالتالي على سلامة المنشآت المقامة على الصخور أو الداخل في تركيبها (البيتون، أساسات الطرق، صخر الإكساء...) [3]، وقد قمنا بدراسة تأثير تجمد الماء ضمن الصخور وفق اختبار الأصالة بسلفات الصوديوم (Na_2SO4) [1,9]. يتلخص هذا الاختبار بغمر العينات الصخرية في محلول سلفات الصوديوم وتجفيفها بشكل متكرر، هذه العملية تؤدي إلى دخول المحلول وتبلوره ضمن شقوق ومسامات الصخر حيث يولد قوى ضاغطة مشابهة لتلك الناجمة عن تبلور الماء ضمن شقوق ومسامات الصخر. ويمكن عرض الصور التالية التي تبين تأثر الصخور باختبار الأصالة:

(a) قبل الاختبار **(b) بعد الاختبار**

الشكل (1) صور عينات صخرية قبل وبعد اختبار الأصالة

طرائق البحث ومواده:

البحث هو بحث تجريبي مخبري، يعتمد على إجراء الاختبارات التالية على الصخور الكربوناتية المتوافرة في المنطقة الساحلية:

- اختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم وهو الاختبار الأساسي.
- الكتلة الحجمية
- نسبة التشرب
- الاهتراء(لوس انجلوس)
- الوزن النوعي

بعد إجراء هذه الاختبارات نقوم بمعالجة نتائجها و البحث عن علاقة (أو علاقات) تجريبية تربط نتائج اختبار الأصالة ونتائج بقية الاختبارات.

العينات الصخرية:

تم اختيار عينات من عدة مقالع صخرية كربوناتية بدءاً من مدينة بانياس وحتى مدينة اللاذقية ومن مقالع في محافظة حماة.

وتم تصنيف الصخور الموجودة في كل مقلع، ثم قمنا باختيار العينات الممثلة قدر الإمكان للصخور الموجودة بالمقالع، أحضرت العينات إلى مخبر ميكانيك التربة والصخور في جامعة تشرين- كلية الهندسة المدنية وكانت على شكل كتل صخرية كبيرة، تم تكسيرها مخبرياً حسب الأقطار المحددة لاختبار الأصالة وكذلك اختبار لوس أنجلوس، ولزيادة دقة التجارب تم تكسير الحواف الحادة للصخور المكسرة تماشياً مع توصيات (AASHTO T104).

ونوضح نوعية الصخور المحضرة من المقالع وفق الجدول التالي:

جدول رقم (1) نوعية الصخور الكربوناتية المختبرة.

	نوع الصخر	العينات المتشابهة المقلع
1	صخر كلسي كتلي بلون بيج مع عدسات رخامية بيضاء.	بانياس – قلعة المرقب (1) بانياس- مقالع خاصة –عينة(2) الحفة- بنعمو- عينة(4)
2	صخر كلسي أبيض يحوي شقوقاً مملوءة بالكالسيت.	بانياس- بلعين بيصين- عينة(2) بانياس قلعة المرقب(2) عينة(1)
3	صخر كلسي مارلي	بانياس قلعة المرقب(2) عينة(2) كنسبا(3) الحفة عينة(1+2)
4	صخر كلسي كتلي غير متجانس (أطرافه طباشيرية والنواة كلسي كتلي بلون بيج).	كنسبا(1+2+4) عين الشرقية B(2+3) وC (1+2+3)
5	صخر كلسي دولوميتي بألوان غامقة	بيصين – عينة 1 بانياس- بلعين - عينة 2
6	صخر كلسي كتلي بلون بيج لا يحوي شقوقاً أو تطبقات	زاما-1 عين الشرقية A (1+2)
7	صخر كلسي ابيض من الخارج ونواة كلسية بلون بيج.	زاما -2
8	صخر الأرغوانيت بلون أصفر محمر (حديدي)	الحفة بنعمو عينة (5)
9	صخر كلسي كتلي يحوي تجاويف وشقوقاً مملوءة بالغضار الأحمر	الحفة- بنعمو – عينة (6)

اختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم:

يعتمد إجراء الاختبار على مرحلتين:

أ- تحضير العينات الصخرية:

تم تكسير وتجهيز العينات وفق الأقطار والكميات المتوافقة التالية:

جدول رقم (2) الأقطار والكميات المحضرَة لاختبار الأصالة

الوزن(g)	قطر المنخل
5000 +_ 300	63mm-37.5mm(2.5in to 1.5in)
	حيث:
2000+_200	50mm-37.5mm
3000+_300	63mm-50mm
1500+_ 50	37.5mm-19mm(1/2in to 3/4in)
	حيث:
500+_30	25mm-19mm
1000+_50	37.5mm-25mm

وبعد تجهيز العينات بالوزن المطلوب يتم غسلها وتجفيفها ضمن فرن درجة حرارته (110)˚ درجة لمدة أربع وعشرين ساعة.

ب- تحضير محلول الغمر:

تم تحضير محلول الغمر وفقاً لتوصيات (AASHTO T104) حيث يتم تجهيز المحلول قبل (48) ساعة من إجراء التجربة وذلك بإضافة كمية من الملح (سلفات الصوديوم اللامائي Na2So4) مقدارها (225) غرام لكل ليتر ماء، يتم تحريك المزيج باستمرار ، وبعد ذوبان الملح يتم تغطية الوعاء الحاوي على المحلول لمنع التبخر ودخول أجسام غريبة ضمنه ويستمر التحريك وتكسير بلورات الملح المتشكلة ضمن المحلول حتى بداية التجربة.

ج- كيفية إجراء_اختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم:

- يتم غمر العينات الصخرية ضمن أوعية الغمر (لفترة تتراوح بين (16-18) ساعة)، بعد التأكد من عاملين أساسيين وهما درجة حرارة المحلول (19-21 درجة مئوية) ووزنه الحجمي (1.151-1.17) بحيث لا يتجاوز ارتفاع سائل الغمر فوق العينات نصف إنش، ثم يتم تغطية أوعية الغمر لمنع التبخر وللمحافظة على درجة حرارة المحلول. ونبين الأجهزة المستخدمة كما يلي:

(a)

(b)

(c)

الشكل (2) الأجهزة المستخدمة: **(a) الأوعية المعدنية مع الأغطية.**
(b) توضع العينات الصخرية ضمن السلال (الستانلس ستيل).
(c) الجهاز بالكامل بالإضافة لمحلول الغمر.

في اليوم التالي يتم التأكد من حرارة المحلول ووزنه الحجمي وتسجيل القيم في محضر سير التجربة، ثم مراقبة تبلور الملح على العينات حيث تغطى العينات ببلورات الملح كما هي مبينة بالصور التالية:

الشكل (3) بلورات سلفات الصوديوم على العينات الصخرية

- يتم إخراج العينات من المحلول وتترك لمدة لا تقل عن ربع ساعة، قبل وضعها ضمن فرن حرارته (110)° درجة مئوية، وذلك حتى جفاف العينات، والمدة اللازمة لتجفيف العينات تتراوح ما بين (4-6) ساعات وذلك حسب الفرن المستخدم، وعندما تكون العينات ضمن الفرن يتم تحريك المحلول باستمرار ضمن الأوعية.
- يتم الغمر والتجفيف للعينات خمس مرات وعندما لا نستطيع المتابعة يتم وضع العينات الصخرية ضمن الفرن ومن ثم يتم تكملة دورة الغمر والتجفيف متى أمكن.
- في كل مرة يتم فيها إخراج العينات من المحلول يتم الفحص العيني للعينات و تسجيل الملاحظات حول عدد العينات المتشققة، المتكسرة، المفتتة.. لكل قياس وتسجيلها في محضر سير التجربة.
- بعد استكمال دورات الغمر والتجفيف ، يتم غسل العينات بمساعدة محلول كلور الباريوم والماء الفاتر للتخلص من الملح ضمن العينات ثم يتم فصل العينات وفق المناخل التالية:

المناخل المستخدمة لقياس الفقد	قياسات الحطاميات
31.5mm(1.25in)	63mm-37.5mm (2.5in to 1.5in)
16mm(5/8in)	37.5mm-19mm (1/2in to 3/4in)
8mm (5/16in)	19mm to 9.5mm (3/4in to 3/8in)
4mm (No.5)	9.5mmto4.75mm (3/8in toNo.4)

الاختبارات على العينات الصخرية

أ- نتائج اختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم:

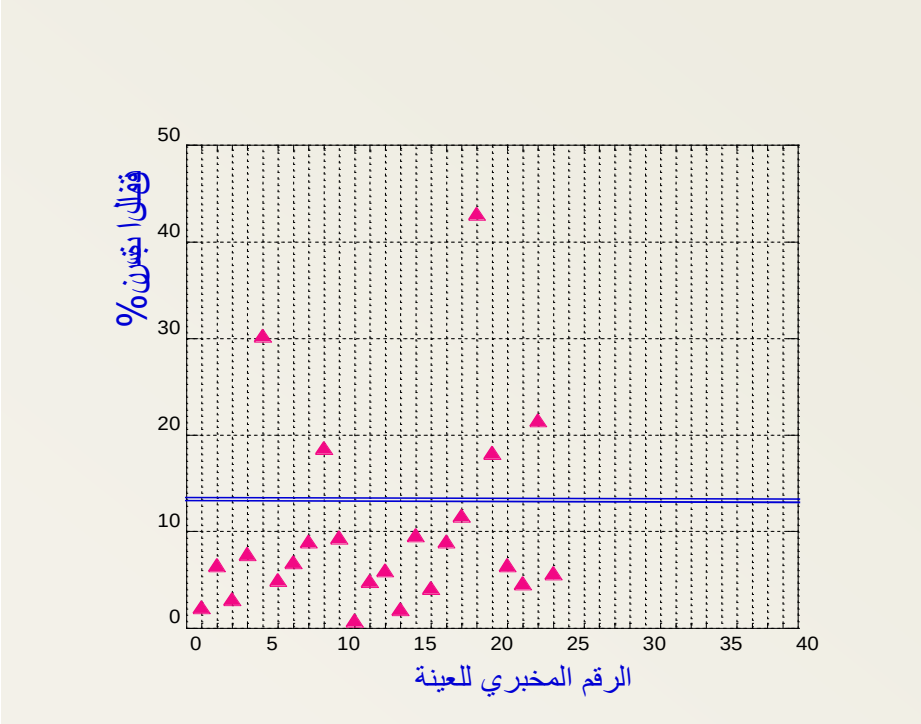
تم إجراء الاختبار على (24) عينة صخرية بمعدل (3-1) اختبار أصالة للعينة الواحدة حسب حجم العينات المتوفرة ومدى تأمين الكمية اللازمة لكل اختبار. حيث يوضح الجدول التالي نتائج اختبار الأصالة لكل مقلع:

جدول رقم (3) نتائج اختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم لكل مقلع بالتفصيل

اسم المقلع	الرقم المخبري	نسبة الفاقد(%)	اسم المقلع	الرقم المخبري	نسبة الفاقد(%)
بانياس (1)	1	2.1 2.2	بيصين- 3	13	6
بانياس-2A	2	6.91 6.11	زاما-1	14	1.71 2.22
بانياس-(2B)	3	3	زاما-2	15	9.63
بانياس-(3-1)	4	7.71	عين الشرقيةA	16	3.37/2.67/6.06
بانياس-(3-2)	5	30.29	عين الشرقيةB	17	15.23 / 10.19 /11.53
بانياس 4	6	7.69 2.3	عين الشرقيةC	18	12.67/10.98/11.2
كنسبا (1)	7	6.84	الحفة-1	19	44.4 41.41
كنسبا(2)	8	9	الحفة-2	20	15.97 20.31
كنسبا(3)	9	18.67	الحفة-3	21	3.75 9.34
كنسبا(4)	10	9.38	الحفة-4	22	3.28 6.0
بيصين- 1	11	0.8	الحفة-5	23	21.52
بيصين- 2	12	4.89	الحفة-6	24	3.62 7.77

إذا اعتمدنا أن النسبة المقبولة للفاقد هي القيمة(12%) [2, 5, 6, 8, ASTM] نلاحظ: أن نسبة الفاقد لتسعة عينات من أصل (39) عينة أكبر من (12%) وذلك يحقق نسبة (23%) .

والشكل التالي يوضح النسبة الوسطية للفاقد للعينات المختبرة:



الشكل رقم (4) نتائج نسبة الفاقد باختبار الأصالة

نلاحظ من الشكل وجود خمس عينات (أي نسبة21%) تتجاوز نسبة الفاقد فيها القيمة المسموحة (12%) .

ب- الاختبارات الأخرى على العينات الصخرية :

أخذت القيمة المتوسطة الحسابية بالنسبة لكل اختبار والنتائج موضحة بالجدول التالي:

جدول(4) النتائج الكلية للعينات

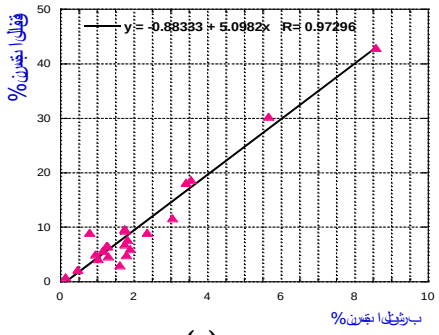
اسم المقلع	الرقم المخبري	نسبة الفاقد %	نسبة الاهتراء %	الكتلة الحجمية (g/cm)	نسبة التشرب %	G	المسامية %
بانياس-1	1	2.15	29.6	2.55	0.47	2.72	6.25
بانياس-2A	2	6.51	25	2.5	1.26	2.77	9.75
بانياس-2B	3	3	26	2.46	1.62	2.8	12.14
بانياس 3-1	4	7.71	31	2.4	1.83	2.76	13.04
بانياس 3-2	5	30.29	36.16	2.07	5.66	2.84	27.11
بانياس 4	6	5	27.03	2.61	0.96	2.76	5.43
كنسبا-1	7	6.84	35.96	2.45	1.75	2.71	9.6
كنسبا-2	8	9	37.51	2.44	2.36	2.71	9.96

كنسبا-3	9	18.67	33.23	2.43	3.56	2.74	11.31
كنسبا-4	10	9.38	34.62	2.41	1.76	2.72	11.40
بيصين-1	11	0.8	18.8	2.75	0.15	2.85	3.51
بيصين- 2	12	4.89	20.9	2.58	1.8	2.84	9.15
بيصين-3	13	6	22.0	2.56	1.9	2.82	9.22
زاما-1	14	1.97	29.96	2.63	0.1	2.74	4.01
زاما-2	15	9.63	29.98	2.5	1.75	2.73	8.42
عين الشرقيةA	16	4.17	27.12	2.53	1.03	2.73	7.33
عين الشرقيةB	17	9	29.36	2.54	0.8	2.71	6.27
عين الشرقيةC	18	11.62	29.94	2.48	3.05	2.72	8.82
الحفة-1	19	42.9	41.1	2.1	8.58	2.8	25.0
الحفة-2	20	18.14	39	2.39	3.42	2.82	15.24
الحفة-3	21	6.54	28	2.51	1.29	2.79	10.0
الحفة-4	22	4.64	28.41	2.5	1.31	2.74	8.76
الحفة-5	23	21.52	37	2.72	0.1	2.73	0.3
الحفة-6	24	5.7	29	2.59	1.16	2.72	4.78

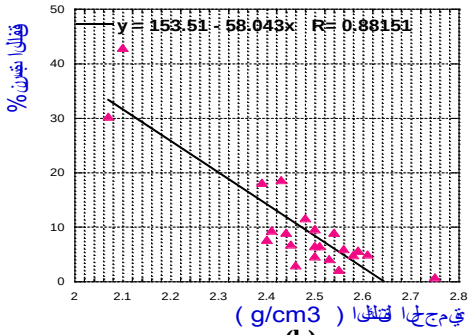
النتائج والمناقشة:

بعد إجراء التجارب على العينات الصخرية تم دراسة إمكانية وجود ارتباط بين هذه الاختبارات واختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم وفق علاقات رياضية.

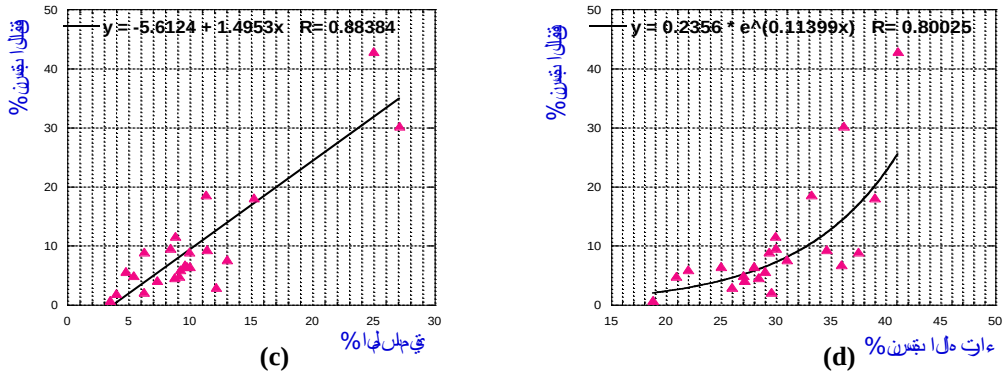
ويبين الشكل (5) العلاقة بين نسبة الفاقد باختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم وكل من نسبة التشرب والكتلة الحجمية والمسامية ونسبة الاهتراء حيث نلاحظ مايلي:



(a)



(b)



الشكل (5) العلاقة بين (نسبة التشرب، الكتلة الحجمية، المسامية، نسبة الاهتراء (L.A)) مع نسبة الفاقد باختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم.

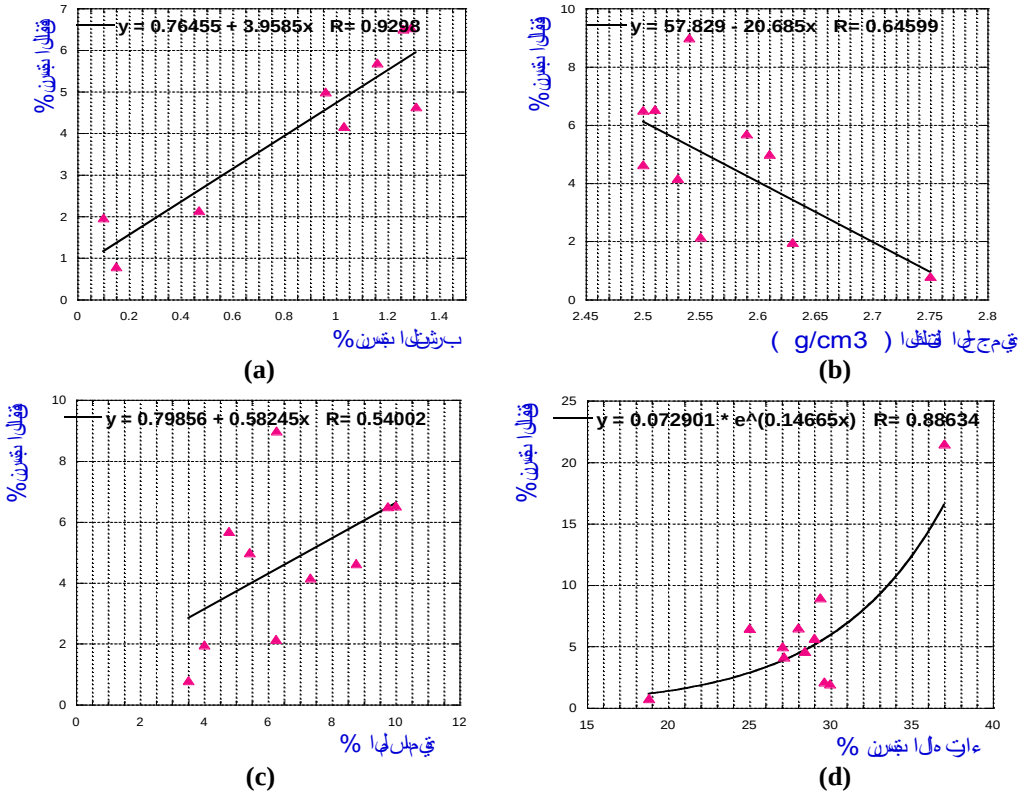
1- زيادة خطية لنسبة الفاقد مع زيادة تشرب الصخر (الشكل -a).

2- زيادة نسبة الفاقد مع نقصان الكتلة الحجمية للصخر (الشكل-b).

3- زيادة نسبة الفاقد بشكل خطي مع زيادة مسامية الصخر (الشكل-c).

4- زيادة نسبة الفاقد مع زيادة اهتراء الصخر (تجربة لوس انجلوس)، حيث نلاحظ تطابقاً جيداً بين التابع الأسي المرسوم لتغير الفاقد بدلالة نسبة الاهتراء عندما لا يتجاوز الفاقد بالاهتراء (31%)، بينما الفرق بين التابع الأسي ونتائج التجارب يزداد عندما يزيد الفاقد بالاهتراء عن (31%) (الشكل -d).

يبين الشكل (6) العلاقة بين (نسبة التشرب، المسامية،الكتلة الحجمية، نسبة الاهتراء (L.A)) ونسبة الفاقد باختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم (نسبة التشرب أقل من 1.5% و الكتلة الحجمية أكبر من($2.5g/cm^3$)) :

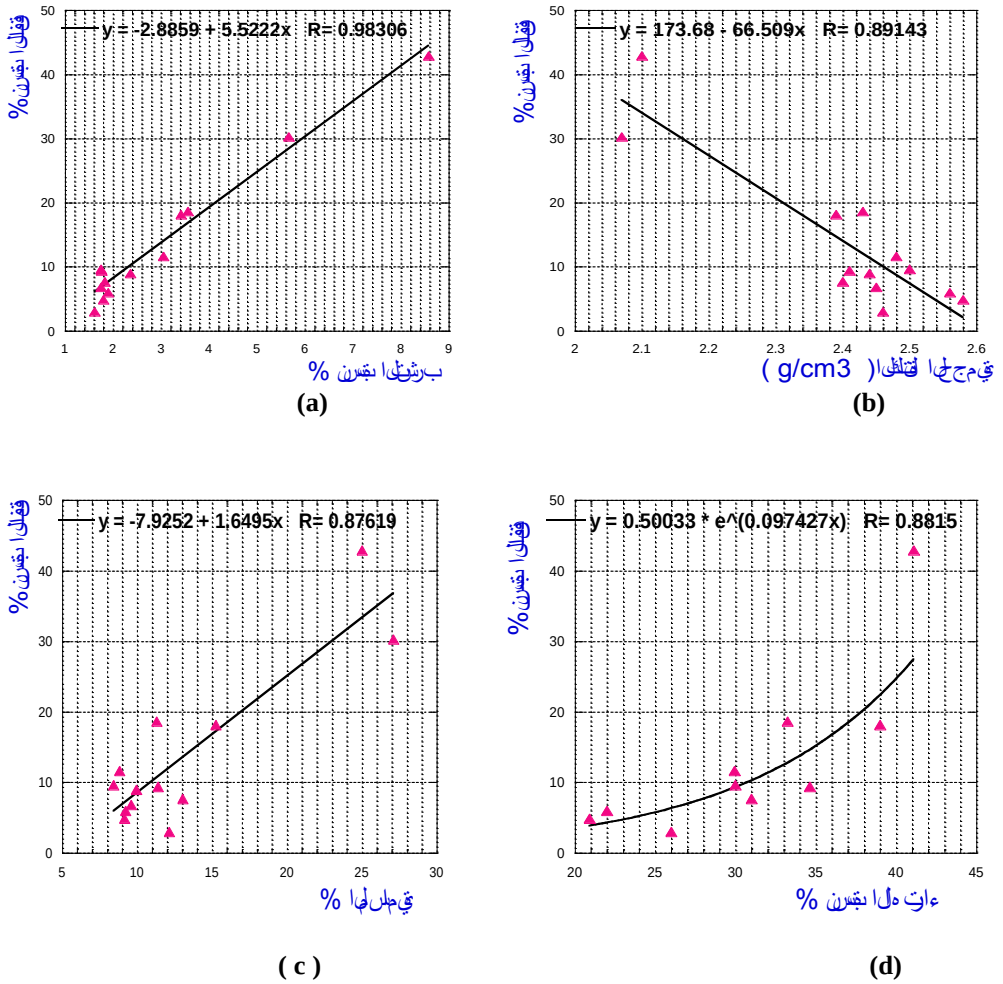


الشكل (6) العلاقة بين (نسبة التشرب، المسامية،الكتلة الحجمية، نسبة الاهتراء (L.A)) ونسبة الفاقد باختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم (نسبة التشرب أقل من 1.5% و الكتلة الحجمية أكبر من($2.5g/cm^3$))

نلاحظ من الشكل ما يلي:

1. زيادة خطية لنسبة الفاقد باختبار الأصالة مع زيادة نسبة التشرب (الشكل-a).
2. فروقاً كثيرة بين نتائج التجارب المخبرية عن المستقيم المرسوم بين نسبة الفاقد باختبار الأصالة والكتلة الحجمية (الشكل-b).
3. هناك تباعد وعدم انتظام لنتائج حول المستقيم المقترح لتمثيل العلاقة بين نسبة الفاقد باختبار الأصالة والمسامية (الشكل-c).
4. نلاحظ تطابقاً جيداً بين نسبة الاهتراء ونسبة الفاقد للنتائج حتى قيمة (30%) للاهتراء وبعدها يحدث تباعد للنتائج عن التابع الأسي لتغير الفاقد بدلالة نسبة الاهتراء (الشكل-d).

يبين **الشكل** (7) العلاقة بين الكتلة الحجمية ونسبة التشرب والمسامية ونسبة الاهتراء ونسبة الفاقد باختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم حيث (نسبة التشرب أكبر من 1.5% والكتلة الحجمية أقل من $2.5g/cm^3$)



(a) **(b)** **(c)** **(d)**

الشكل (7)العلاقة بين الكتلة الحجمية ونسبة التشرب والمسامية ونسبة الاهتراء ونسبة الفاقد باختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم حيث (نسبة التشرب أكبر من 1.5% والكتلة الحجمية أقل من $2.5g/cm^3$)

نلاحظ من الشكل مايلي :

1- قيمة الفاقد بالأصالة تزداد بشكل خطي مع نسبة التشرب (الشكل-a).

2- قيمة الفاقد باختبار الأصالة تتناقص بشكل خطي مع ازدياد الكتلة الحجمية(الشكل-b).

3- قيمة الفاقد بالأصالة تزداد بشكل خطي مع المسامية (الشكل- c).

4- تطابق جيد بين نتائج نسبة الاهتراء و نتائج نسبة الفاقد بعلاقة غير خطية وفق تابع أسي حتى نسبة اهتراء (32%) (الشكل- d).

يمكن تشكيل الجدول التالي لتوضيح معامل الارتباط (correlation coefficient) بين البارمترات (الكتلة الحجمية والمسامية ونسبة التشرب ونسبة الاهتراء) ونسبة الفاقد باختبار الأصالة :

جدول رقم (5) معامل الارتباط بين نتائج نسبة الفاقد باختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم ونتائج الاختبارات المدروسة

	العلاقة الرياضية	التصنيف بدون حدود	نسبة التشرب أقل من 1.5%	نسبة التشرب ≤ 1.5%	تشرب أقل من 1.5% وكتلة حجمية أكبر من $2.5g/cm^3$	تشرب أكبر من 1.5% وكتلة حجمية أصغر من $2.5g/cm^3$
نسبة التشرب	خطية	0.97	0.74	0.98	0.93	0.98
الكتلة الحجمية	خطية	0.88	0.72	0.89	0.65	0.89
المسامية	خطية	0.88	0.73	0.88	0.54	0.88
الاهتراء(لوس انجلوس)	أسية	0.80	0.89	0.74	0.89	0.88

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- هناك علاقة واضحة بين خاصية التشرب و نسبة الفاقد باختبار الأصالة(سلفات الصوديوم) وهذا متوافق مع نتائج (Rismantojo,2002)ومخالف لنتائج (Kline,2006) ويمكن اعتبارها الخاصية الأساسية بالنسبة للصخور الكربوناتية حيث قيمة الارتباط بين نسبة التشرب و نسبة الفاقد باختبار الأصالة (R=0.98) ضمن الشروط (نسبة التشرب أكبر أو تساوي (1.5%) والكتلة الحجمية أقل من($2.5g/cm^3$)) وهذه العلاقة خطية:

$$y = -2.8859+5.522*x$$

حيث (y) نسبة الفاقد باختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم وقيمة (x) نسبة التشرب.

2- يوجد علاقة تربط بين نسبة الاهتراء واختبار سلفات الصوديوم وهي غير خطية (أسية) بمعامل ارتباط (R= 0.89) (هذا يتوافق مع نتائج (Papalentiou,1987) من ناحية قيمة معامل الارتباط) وذلك ضمن الشروط (نسبة التشرب أقل من (1.5%) والكتلة الحجمية أكبر أو تساوي ($2.5g/cm^3$) وهذه العلاقة:

$$y = 0.07291*e^{(0.14665*x)}$$

حيث (y) نسبة الفاقد باختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم وقيمة (x) نسبة الاهتراء (لوس انجلوس). بينما (Cuelho, 2007) اقترح علاقة خطية بين نتائج الاهتراء (لوس انجلوس –L.A) ونتائج اختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم بمعامل ارتباط ضعيف مقداره(0.28)، وكذلك (Fowler,2006) و(Parker,1998) ذكرا أن الارتباط ضعيف بين نتائج الاختبارين.

3– إن العينات الصخرية المدروسة من المقالع جيدة ومقاومة لتأثير التجمد باستثناء العينات المحضرة من مقلع الحفة حيث إن نصف العينات غير مقاومة للتجمد وفق اختبار الأصالة.

التوصيات:

1. إن اختبار الأصالة (Soundness Test) مهم لدراسة تأثير التجمد على الصخور ويجب أن يتم أخذه بالحسبان عند اختبار الصخور أو الحطاميات.
2. العينات المدروسة من مقلع (بيصين–حماة) وجبلة(عين الشرقية+ زاما) هي عينات مقاومة لتأثير التجمد فيجب الاهتمام أكثر بهذه المقالع من حيث تكثيف دراسة اختبار الأصالة.
3. إن الصخور الكربوناتية المدروسة ضمن المنطقة الساحلية هي صخور مقاومة لتأثير التجمد بنسب تتراوح مابين (50-100%) وذلك حسب المنطقة ونوع الصخر المدروس.
4. هناك ارتباط جيد بين نسبة التشرب واختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم، لذلك يفضل إجراء تجربة حساب نسبة التشرب من أجل التقييم الأولي.
5. على ضوء الدراسة نجد ارتباطاً جيداً بين نتائج (لوس انجلوس) للاهتراء و اختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم وفق علاقة غير خطية، لكن يفضل عدم أخذ نتائج الأصالة من نتائج نسبة الاهتراء (لوس انجلوس) إلا في الدراسة الأولية.
6. لتحديد القيمة البدائية لاختبار الأصالة باستخدام سلفات الصوديوم يفضل حساب القيمة من العلاقات وفق نسبة التشرب والكتلة الحجمية والمسامية وكذلك وفق العلاقة مع نسبة الاهتراء واختيار القيمة العظمى بينهما وذلك عندما لا يتوافر الوقت الكافي لإجراء اختبار الأصالة.

المراجع:

1- Al JASSAR, S.A. ; HAWKINS, A.B. *Chemical Soundness Test on Carboniferous Limestone samples from the Bristol area* .Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology .London, v.17;no.4, 1984, p. 351-355.

2- CUELHO,E.M.;OBERT,K. *Comparative Analysis of Coarse Surfacing Aggregate Using Micro-Devel ,L.A. Abrasion and Sodium Sulfate Soundness Tests*.Montana State University, Bozeman, 2007, 47p, figures (5), tables (16).

3- ELSEVIER, S. B. *Influence of geological factors on abrasion resistance soundness characteristics of aggregates.* Engineering Geology, India, vol 15, 1980, p (195-203).

4- FOWLER, D. W.; ALLEN, J. J; LANGE, A. *The Prediction of Coarse Aggregate Performance by Micro- Devel and Other Aggregate Test*. The University of Texas at Austin, International Center for Aggregate, Research ICAR Report 507-1F, (2006).

5- Kline, S. W. *Problems with sulfate soundness of dolomite aggregates of northern Arkansas*. geological society of America, No.2, Vol.36, 2004, p56.

6- Kline, S. W.; PHIUKHAO, W.; GRIFFIN, M. L.; MILLER, J.W .*Evaluation of the Sodium Sulfate Soundness Test for Qualifying Dolomites of Northern Aransas for Construction Aggregate***.** Proceedings: Forum on the Geology of Industrial Minerals, Indiana University, 2006, p (71-76).

7- PAPALENTIOU, C. G.; MEYER, A. H.; Fowler, D. W. *Evaluation of the 4-cycle Magnesium Sulfate Soundness Test*. University of Texas, Austin, Texas, Research Report 438-1F. Center for Transportation Research, 1987, p80.

8- PARKER, W. Y.; KANDHAL, P. S. *Aggregates Toughness/Abrasion Resistance and Durability/ Soundness Tests Related to Asphalt Concrete Performance in Pavements*. Transportation Research Record. National Center for Asphalt Technology, Auburn, University, Auburn, Alapama, 1998, p(85-93), figures(6), tables(4).

9- RANGARAJU, P. R.; EDLINSKI, J. *Evaluation of South Carolina Aggregate Durability Properties*. South Carolina Department of Transportation, Report No. FHWA-SC-05-01, 2005, 57p, figures (14), tables (9), photos (4).

10- RISMANTOJO, E**.** *Permanent Deformation and Moisture Susceptibility Related Aggregate Test for use in Hot- Mix Asphalt Pavements***.** Ph.D Thesis. Purdue University, West Lafayette, Indiana. 2002, p(110-126).